

DESAIN TEKNOLOGI MPPT (*MAXIMUM POWER POINT TRACKER*) BERBASIS *FUZZY LOGIC* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) YANG TERHUBUNG *GRID*

Machmud Effendy¹

Abstrak

Berdasarkan data dari Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2006, Indonesia mempunyai potensi energi angin sebesar 9.29 GW dan sudah terpasang sebesar 0.0005 GW. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan roadmap pemanfaatan energi terbarukan yang menargetkan kapasitas terpasang hingga tahun 2025 mencapai 17%. Ada beberapa cara untuk meningkatkan kapasitas daya listrik Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) yaitu dengan menambah jumlah pembangkit, namun cara ini cukup mahal, karena harus membangun pembangkit baru.

Dalam penelitian ini, digunakan teknologi MPPT untuk menaikkan efisiensi PLTB dengan cara mencari daya listrik maksimum pada kecepatan angin yang telah ditentukan, dan untuk menghasilkan nilai duty cycle dan mempercepat tanggapan system digunakan kontrol fuzzy.

PLTB ini juga dilengkapi dengan sistem On-Grid, artinya produksi daya listrik PLTB dapat ditransfer ke jaringan listrik PLN, sehingga akan membantu meningkatkan rasio elektrifikasi di Indonesia.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi MPPT mampu menaikkan efisiensi PLTB dari 65% menjadi 80%. Daya aktif yang mampu ditansfer oleh PLTB saat kecepatan angin 6 meter/detik ke sistem *grid* sebesar 925 Watt dan daya reaktif sebesar -921 watt.

Kata-kata kunci: PLTB, MPPT, Grid

¹*Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang.*

Abstract

Based on data from the Ministry of Energy and Mineral Resources in 2006, Indonesia has the potential of wind energy at 9.29 GW and has been installed at 0.0005GW. Currently, the government has issued a roadmap which targets the utilization of renewable energy installed capacity until 2025 to reach 17%. There are several ways to increase the capacity of the electric of wind power plant. One of them by increasing the number of plants, but it is quite expensive, because they have to build new power plants.

In this research, MPPT technology is used to increase the efficiency of wind power plant by seeking the maximum electrical power at a wind speed that has been determined, and to generate the duty cycle value and accelerate response system used Fuzzy Logic control.

The results of the research shows that MPPT technology is able to increase the efficiency of wind power plant of 65% to 80%. Active power that is able to be transferred by the thermal power station when the wind speed 6meter / sec to the grid system of 925 Watt and reactive power at -921 watt.

Keywords: *Wind Power Plant, MPPT, Grid*

1. PENDAHULUAN

PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Angin) merupakan salah satu sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang banyak tersedia di Indonesia. Berdasarkan data dari Departemen ESDM tahun 2006, Indonesia mempunyai potensi energi angin sebesar 9.29 GW dan sudah terpasang sebesar 0.0005 GW. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan roadmap pemanfaatan energi terbarukan yang menargetkan kapasitas terpasang energy terbarukan hingga tahun 2025 mencapai 17%. [4]

Ada beberapa cara untuk meningkatkan kapasitas daya listrik Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB), salah satunya menggunakan teknologi MPPT.

Dalam penelitian ini, didesain sistem PLTB yang terhubung dengan *grid* melalui dengan metode MPPT (*maximum power point tracking*) sehingga menghasilkan daya keluaran PLTB yang memiliki efisiensi tinggi. Dan merancang inverter yang dapat terhubung dengan sistem interkoneksi (*grid*). Algoritma MPPT yang digunakan adalah *fuzzy logic controller*.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 PLTB

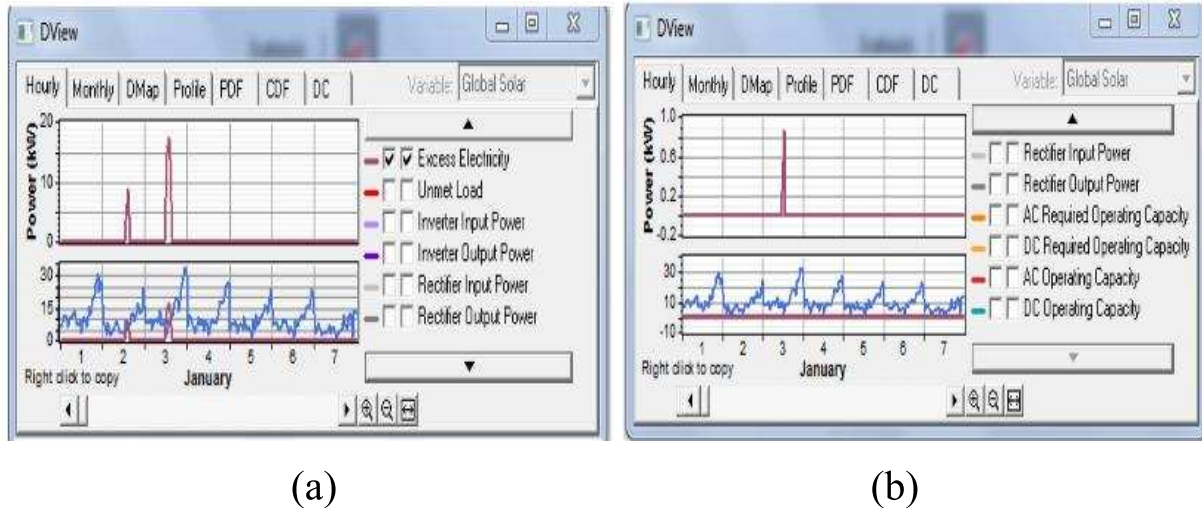
PLTB adalah pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam. Sedangkan perhitungan potensi energy listrik pada PLTB digunakan rumus dasar [5]:

$$P = \eta_{total} \frac{1}{2} \rho A V^3 (W) \quad (1)$$

2.2 Sistem On-Grid

Perbandingan antara system *Off-Grid* dengan system *On-Grid* dijelaskan dalam sebuah jurnal internasional (Kenneth,2015). Dalam artikelnya yang dimuat di Jurnal Internasional of Engineering Technolgies, Kenneth melakukan studi perbandingan system On-Grid dan Off-Grid yang diterapkan pada PLTS dan PLTD.

Perbandingan pembebanan listrik konsumen antara system *Off-Grid* dan *On-Grid* ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Dari gambar 1(a) dan 1(b) menunjukkan bahwa, saat PLTS dan PLTD beroperasi sendiri (*Stand alone*), maka diperlukan daya listrik yang lebih besar untuk mensuplai kebutuhan listrik konsumen. Namun, saat PLTS dan PLTD terhubung dengan jaringan *existing*, maka daya listrik yang dibutuhkan untuk mensuplai beban listrik konsumen lebih kecil, dan dengan menggunakan system *On-Grid*, ada jaminan bahwa kebutuhan listrik konsumen tetap terjaga.



GAMBAR 1. a. PEMBEBANAN LISTRIK MENGGUNAKAN *OFF-GRID*
b. PEMBEBANAN LISTRIK MENGGUNAKAN *ON-GRID*

Dari gambar 1(a) dan 1(b) menunjukkan bahwa, saat PLTS dan PLTD beroperasi sendiri (*Stand alone*), maka diperlukan daya listrik yang lebih besar untuk mensuplai kebutuhan listrik konsumen. Namun, saat PLTS dan PLTD terhubung dengan jaringan *existing*, maka daya listrik yang dibutuhkan untuk mensuplai beban listrik konsumen lebih kecil, dan dengan menggunakan system *On-Grid*, ada jaminan bahwa kebutuhan listrik konsumen tetap terjaga.

2.3 Studi Yang Pernah Dilakukan

Untuk memberikan landasan yang kuat terhadap penelitian ini, maka terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang sedang dan telah dilakukan oleh peneliti sebagai berikut:

- Analisa penggunaan teknologi MPPT pada PLTS berbasis FPGA (Field Programmable Gate Array) dan membandingkan antara strategi control Fuzzy dan PI (Proportional Integrator) yang digunakan untuk menghasilkan pulsa *duty cycle*. Pada peneltiain ini disimpulkan bahwa teknologi MPPT dapat diterapkan pada modul PV, dan mampu meningkatkan efisiensi daya keluaran listrik PLTS, dan strategi control Fuzzy

mempunyai tanggapan waktu yang lebih cepat dibandingkan strategi control PI. [2]

- b. Optimasi system *On-Grid* di PLTS dilakukan oleh Tajudin (2013), dalam tulisannya dijelaskan bahwa system *On-Grid* mampu menghasilkan nilai NPC (*Net Present Cost*) yang lebih rendah jika dibandingkan dengan system *Off-Grid*. Karena semakin rendah nilai NPC, maka biaya operasi dan biaya satuan energinya juga rendah.
- c. Analisa unjuk kerja system *On-Grid* pada PLTB juga telah dilakukan [1], dalam tulisannya dijelaskan bahwa PLTB yang menggunakan generator induksi mampu diinterkoneksi dengan jaringan *existing*. Dan hasil simulasi menunjukkan bahwa saat system PLTB diinterkoneksi dengan system Grid, membutuhkan strategi control pada tegangan referensi 690 Volt, frekuensi 50Hz, 4 Kutub generator, dan daya aktif 1.5MW

2.4 MPPT

MPPT merupakan sistem elektronik yang mampu menghasilkan daya maksimum dari listrik yang dibangkitkan oleh turbin angin (yang dilengkapi generator). MPPT bukanlah sistem mekanik yang secara fisik mengarahkan turbin angin. Bagian utama dari sistem MPPT adalah DC to DC converter yang mampu merubah tegangan atau arus yang dihasilkan sumber energi listrik menjadi tegangan yang lebih besar, sehingga mampu untuk mensuplai lebih banyak beban listrik seperti baterai, motor, lampu dll. (Wikipedia, 2013).

Pada turbin angin, MPPT membaca perubahan kecepatan rotor generator dan perubahan sudut gerak turbin angin (*pitch angle*) (Muldi, 2011) atau MPPT pada turbin angin juga dapat membaca perubahan tegangan dan arus beban listrik. [3]

Sistem MPPT membutuhkan algoritma kontrol untuk memicu DC to DC converter. Ada dua algoritma kontrol yang digunakan MPPT antara lain :

1. Perturb and Observe (P &O)

Algoritma ini akan membaca tegangan dan arus solar sel untuk mendapatkan besaran daya. Jika daya yang terukur naik, maka pemicuan DC to DC converter harus diperlambat, sedangkan

jika daya yang terukur turun, maka pemicuan DC to DC converter harus dipercepat. Algoritma P & O ini memiliki kelemahan yaitu: adanya osilasi daya yang besar pada saat terjadi perubahan iradiasi sinar matahari atau perubahan daya beban listrik.

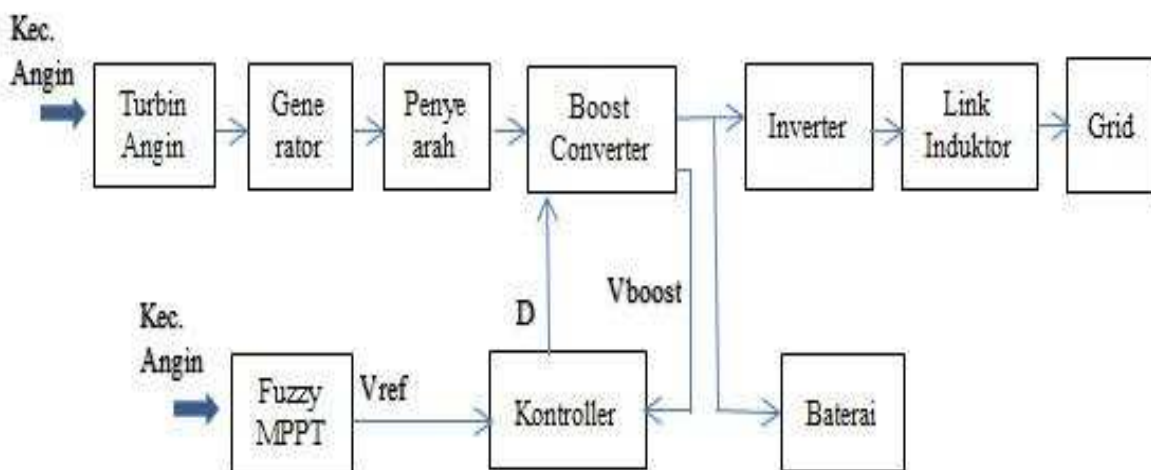
2. Incremental Conductance (IC)

Algoritma IC menggunakan teknik perbandingan antara perubahan daya dan tegangan. Pada saat perbandingan perubahan daya dan perubahan tegangan sama dengan nol ($dP/dV = 0$), maka saat itu terjadi MPP (Maximum Power Point). Pada saat $dP/dV > 0$, maka pemicuan DC to DC converter dipercepat dan pada saat $dP/dV < 0$, maka pemicuan DC to DC converter diperlambat.

Kelemahan dari algoritma ini adalah waktu yang digunakan untuk mencapai titik MPP cukup lama karena membutuhkan pencacahan (*sampling*) frekuensi dari tegangan dan arus.

3. METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan penelitian ini, ada beberapa tahapan yang dilakukan antara lain: perhitungan potensi daya listrik yang dihasilkan oleh PLTB, desain Boost Converter, Algoritma MPPT, dan pengujian MPPT. Sistem keseluruhan yang disimulasikan ditunjukkan pada gambar 2.



GAMBAR 2. BLOK DIAGRAM MPPT PADA PLTB TERHUBUNG GRID

3.1 Potensi Daya Listrik PLTB

Perhitungan potensi daya listrik PLTB dapat menggunakan persamaan (1), dimana:

Efisiensi total (η_{total}) = 0.45

Kerapatan udara (ρ) = 1.25 kg/m³

Luas Sudu(A) , (dengan R sudu = 2.5m) = 19.63 m²

Kecepatan angin (V) = 4-7 m/detik

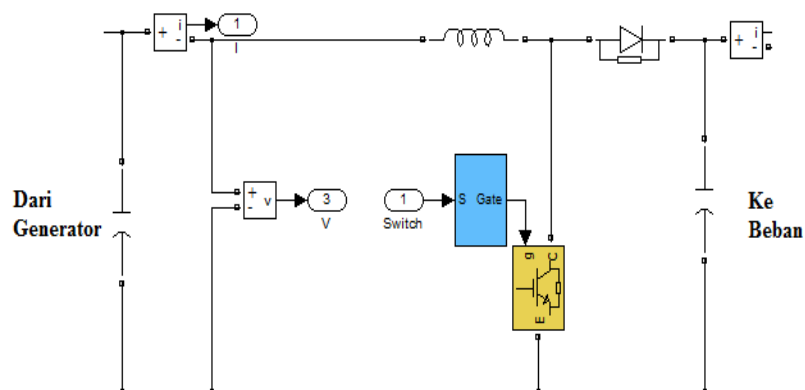
Maka potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLTB adalah sebagai berikut:

TABEL 1. POTENSI DAYA PLTB

V(m/det)	P(W)
4	353.3
5	690.1
6	1192.5
7	1893.7

3.2 Boost Converter

Untuk menaikkan tegangan keluaran generator listrik, maka digunakan rangkaian Boost Converter, seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.[Rashid,2007]



GAMBAR 3. BOOST CONVERTER

Polaritas tegangan keluarannya mempunyai nilai yang sama dengan masukan.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 - D} \quad (2)$$

Nilai *duty cycle* D didapat dengan :

$$D = 1 - \frac{V_m^*}{V_{out}} \quad (3)$$

3.3 Algoritma Fuzzy

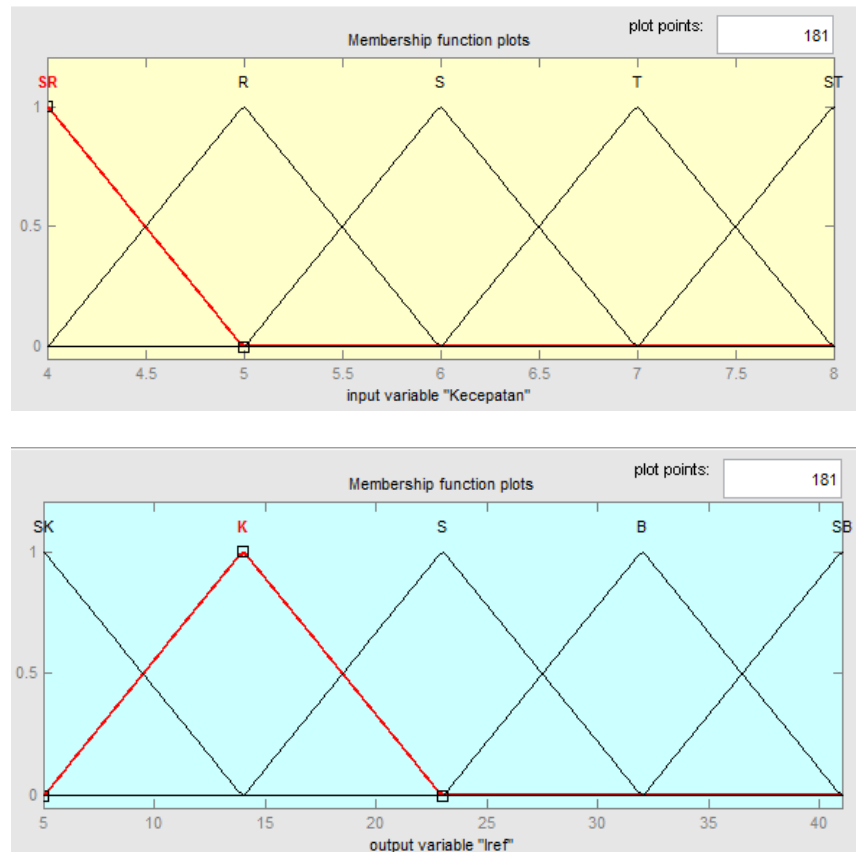
Algoritma ini digunakan untuk menentukan besarnya tegangan referensi generator PLTB untuk setiap kondisi kecepatan angin. Sehingga generator PLTB dapat menghasilkan daya maksimum untuk setiap kondisi kecepatan angin. Algoritma fuzzy dipilih karena mampu menghasilkan tegangan referensi dengan kecepatan yang tinggi. Data masukan untuk PLTB adalah kecepatan angin dan data keluaran adalah tegangan referensi. Tabel keanggotaan dan fungsi keanggotaan fuzzy ditunjukkan sebagai berikut:

TABEL 2. SPEED FUZZY SET

Kec (m/det)	SR	R	S	T	ST
4	Y*	Y	N	N	N
5	Y	Y*	Y	N	N
6	N	Y	Y*	Y	N
7	N	N	Y	Y*	Y
8	N	N	N	Y	Y*

Sedangkan rule base fuzzy dijelaskan sebagai berikut:

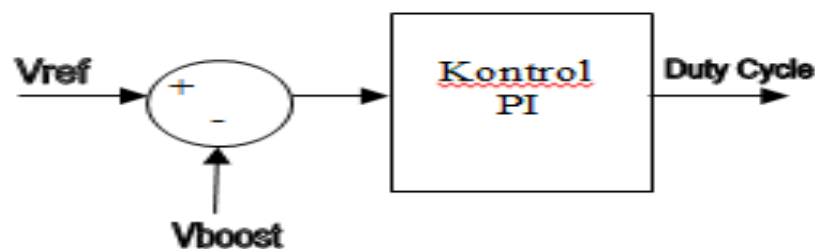
- Jika kecepatan angin sangat rendah (SR), maka tegangan referensi sangat rendah (SR).
- Jika kecepatan angin rendah (R), maka tegangan referensi rendah (R).
- Jika kecepatan angin sedang (S), maka tegangan referensi sedang (S).
- Jika kecepatan angin tinggi (T), maka tegangan referensi tinggi (T).
- Jika kecepatan angin sangat tinggi (ST), maka tegangan referensi sangat tinggi (SR).



GAMBAR 4 . FUNGSI KEANGGOTAAN FUZZY UNTUK PLTB

3.2. Kontrol Tegangan

Untuk menentukan besarnya duty cycle yang digunakan untuk memicu komponen IGBT pada rangkaian Boost Converter, maka diperlukan sebuah control PI. Gambar dibawah ini menunjukkan model kontrol PI yang digunakan.



GAMBAR 5. SISTEM KONTROLLER

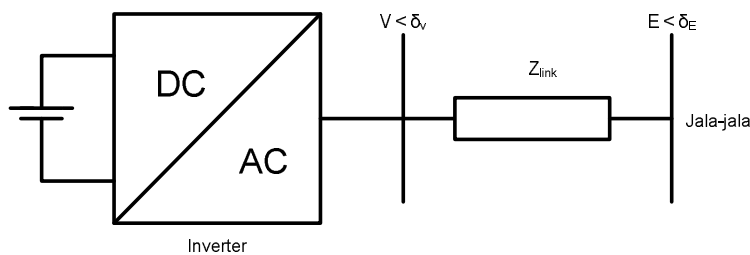
3.3. Inverter

Inverter tiga fasa terdiri dari enam IGBT yang dihubungkan dengan spwm generator dan enam *fast recovery* dioda IGBT.

$$P = \frac{VE}{X_{link}} \sin(\delta_V - \delta_E) \quad (4)$$

$$Q = \frac{V^2}{X_{link}} - \frac{VE}{X_{link}} \cos(\delta_V - \delta_E) \quad (5)$$

P dan Q diatur dengan mengatur impedansi *link inverter* mengubah tegangan keluaran inverter atau dengan mengubah besar beda sudut $\delta_V - \delta_E$. Berdasarkan persamaan (4) dan (5) jika semakin besar nilai V maka nilai P dan Q akan semakin besar. Hubungan antara inverter dan jala-jala diilustrasikan dengan **Gambar 6**.



GAMBAR 6. INVERTER TERINTEGRASI GRID

Hubungan inverter dengan *grid* harus melalui Link Induktor. Link Induktor L didesain sebagai isolasi antara keluaran inverter dengan *grid*. Tegangan inverter dapat dikontrol dengan mengubah perbedaan fasa $\delta = \delta_V - \delta_E$ antara inverter dengan tegangan *grid* ataupun dapat juga dengan mengontrol modulasi tegangan. Sudut fasa diatur sedemikian hingga daya aktif yang di transfer maksimum dengan $\delta = 90^\circ$ dan tegangan inverter dibuat konstan $380 \cdot \sqrt{2}$ Volt pada indeks modulasi satu.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

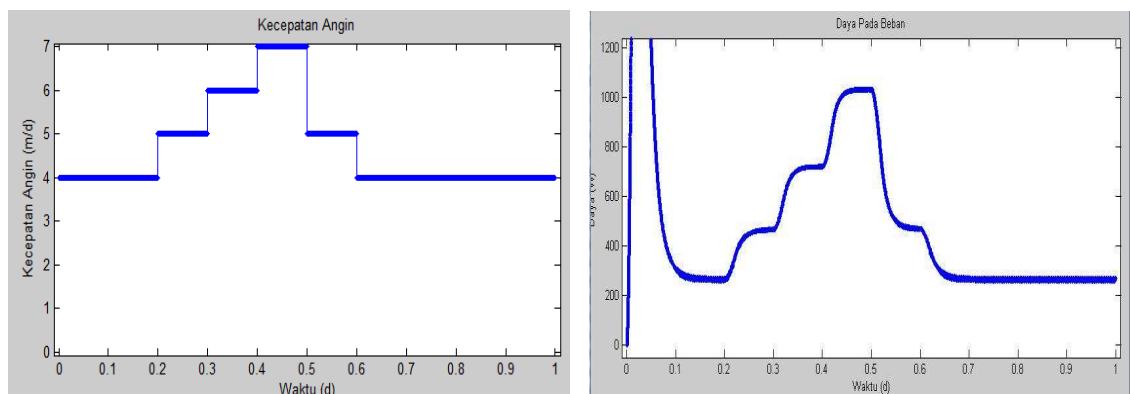
4.1 Pengujian MPPT

Sistem PLTB yang digunakan dalam penelitian ini, menggunakan turbin angin dan generator dengan spesifikasi sebagai berikut:

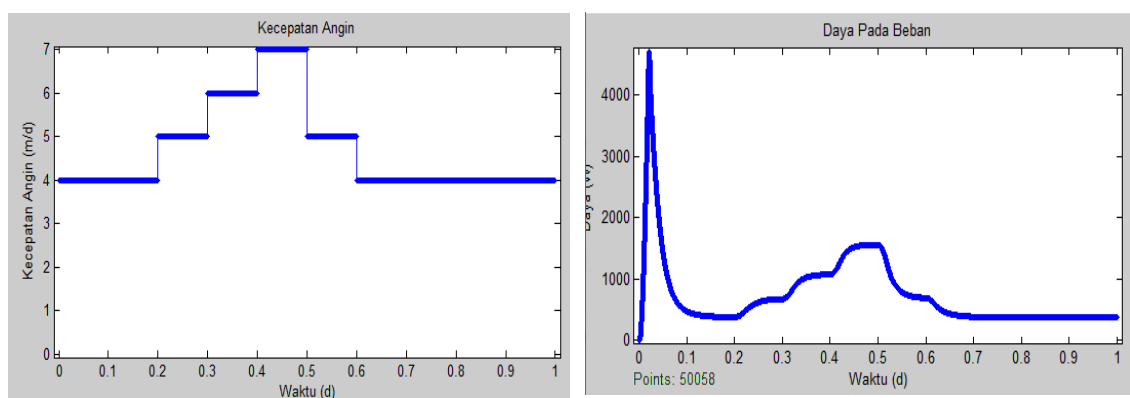
TABEL 3. PARAMETER SISTEM PLTB

Variabel	Parameter
Turbin Angin	Jari-jari Blade = 2,5m
	V = 4 - 7m/detik
	$\beta = 0^0$
Generator	Daya = 2000VA, 132V
	J = 0.0008 Nms ²

Simulasi pertama adalah mengukur keluaran daya pembangkit listrik tenaga angin tanpa menggunakan teknologi MPPT pada saat ada perubahan kecepatan angin, dan dilanjutkan dengan simulasi yang kedua yaitu mengukur keluaran daya pembangkit listrik tenaga angin menggunakan teknologi MPPT saat terjadi perubahan kecepatan angin. Hasil simulasinya ditunjukkan pada gambar 7 dan 8, dan tabel hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4 dan 5.



GAMBAR 7. KELUARAN DAYA LISTRIK PLTB TANPA MPPT



GAMBAR 8. KELUARAN DAYA LISTRIK PLTB MENGGUNAKAN MPPT

Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa pada saat terjadi perubahan kecepatan angin mulai dari 4 m/detik sampai dengan 7 m/detik, PLTB yang menggunakan MPPT menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan MPPT. Dan tabel 4 dan 5 memperlihatkan bahwa PLTB dengan MPPT memiliki rata-rata efisiensi yang lebih tinggi yaitu sebesar 80%.

TABEL 4. DAYA LISTRIK PLTB TANPA MPPT

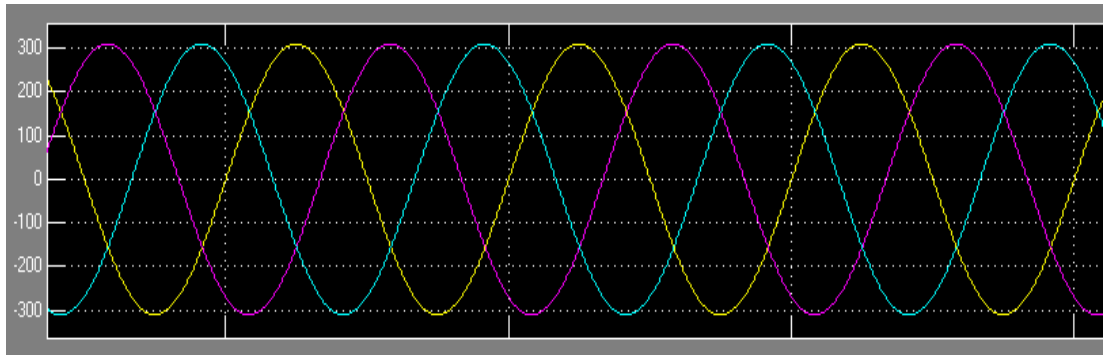
V(m/det)	P _{beban} (W)	Potensi Daya PLTB(W)	Efisiensi (%)
4	269	353	55
5	466	690	61
6	722	1193	68
7	1035	1894	76
Rata-rata efisiensi			65

TABEL 5. DAYA LISTRIK PLTB MENGGUNAKAN MPPT

V(m/det)	P _{beban} (W)	Potensi Daya PLTB(W)	Efisiensi (%)
4	282	353	80
5	574	690	83
6	978	1193	82
7	1483	1894	78
Rata-rata efisiensi			80

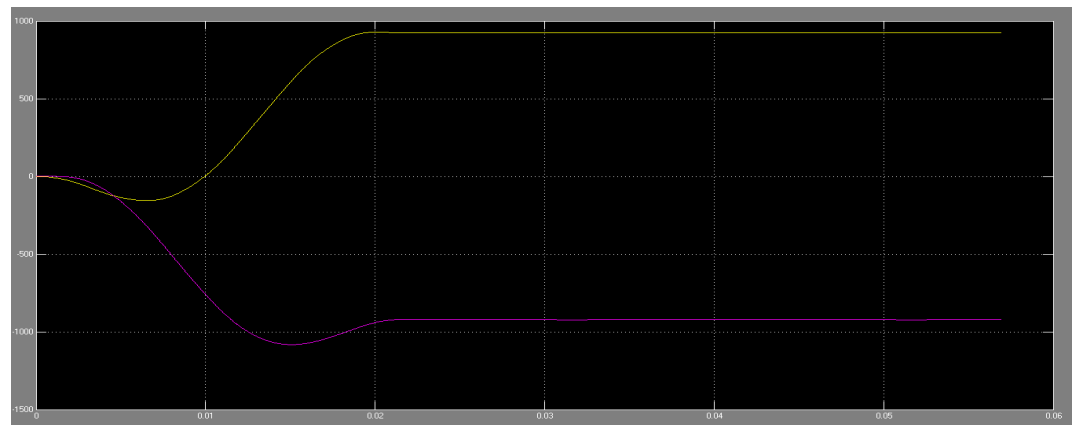
4.2. Pengujian Sistem Grid

Simulasi selanjutnya, menghubungkan keluaran PLTB pada sistem grid. Keluaran daya PLTB disimpan kedalam sebuah baterai, dan diubah menjadi tegangan AC oleh inverter. Gambar 9 menunjukkan tegangan keluaran inverter sebesar 310 Volt dan nilai tegangan rms sebesar 220V.



GAMBAR 9. TEGANGAN KELUARAN INVERTER

Sedangkan daya yang disalurkan oleh inverter ke *grid* pada saat kecepatan angin sebesar 6m/detik ditunjukkan pada gambar 10.



GAMBAR 10. DAYA AKTIF DAN REAKTIF INVERTER

Gambar 10 menunjukkan bahwa daya aktif yang diserap oleh *grid* rata-rata sebesar 925 Watt, dan daya reaktifnya sebesar -921 Watt. Nilai negatif pada daya reaktif menunjukkan bahwa inverter mensuplai daya reaktif.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- Teknologi MPPT terbukti mampu meningkatkan prosentase efisiensi daya listrik yang dihasilkan oleh PLTB, dari 65% menjadi 80%.
- Inverter yang digunakan pada sistem PLTB mampu mensuplai daya aktif sebesar 925 watt dan daya reaktif

sebesar -921 watt pada saat kecepatan angin sebesar 6 meter/detik

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aggarwal Archma, 2014, " *Control Strategies for DFIG Based Grid Connected Wind Energy Conversion System*", International Journal of Grid Distribution Computing, Vol7, N0.3 pp 49-60.
- [2] Basil M.Hamed, Mohammad S. El-Moghany, 2012, " *Fuzzy Controller Design Using FPGA For Photovoltaic Maximum Power Point*", International Journal of Research in Artificial Intellegence, Vol1.No.1
- [3] Dzulfiqar Rais, Muhammad Ashari, Vita, " *Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracking Dengan Metode Gradient Approximation*", Penelitian ITS.
- [4] ESDM, 2006, Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025,Kementrian ESDM
- [5] Kazmi, S.M.R.; Goto, H.; Guo, H.J.; Ichinokura, O. *A novel algorithm for fast and efficient speed-sensorless maximum power point tracking in wind energy conversion systems*. IEEE Trans. Ind. Electron. 2011, 58, 29–36
- [6] Machmud Effendy, 2015, " *Sistem MPPT Menggunakan Logika Fuzzy Pada Pembangkit Photovoltaic*", Proceeding Sentra UMM